

Erläuterungen und Zusätze

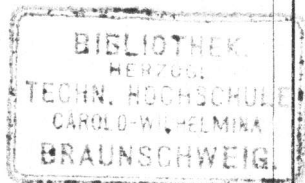
zu

F. Reuleaux's Kinematik.

In gedrängter Kürze aufgestellt

von

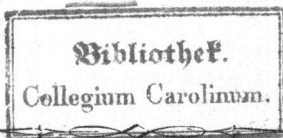
M. Niemann.



Inhalt:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Kinematik und Körperwelt. | 7. Das Problem der Stützung. |
| 2. Auftreten der ductilen Elemente. | 8. Receptor und Werkzeug. |
| 3. Herleitung der Elementenpaare. | 9. Die Ausleitung der Kraft. |
| 4. Verschiedene Bewegungsfreiheit. | 10. Classificirung der Maschinen. |
| 5. Auftreten des Kraftschlusses. | 11. Motoren und Widerstände. |
| 6. Beschränkung der freien Drehbarkeit. | 12. Mehrere Beispiele. |

Mit einer Figurentafel.



BERLIN.

Mayer & Müller.

1877.

1. Nicht lange nach dem Erscheinen von Reuleaux's theoretischer Kinematik hat sich das Bedürfniss herausgestellt, die Gegenstände dieses verdienstvollen Buches einer ferneren Diskussion zu unterziehen, und die darin erscheinenden neuen Begriffe für die allgemeine Handlichkeit herzurichten. In diesem Sinne schrieb Herr Professor T. Ritterhaus im Civilingenieur Jahrgang 1875 einen Artikel über die heutige Schule der Kinematik, in welchem er eine Anzahl von Unvollkommenheiten und Fehlern der Reuleaux'schen Kinematik zur Beachtung vorführte und gleichzeitig Material zum weiteren Ausbau des Systems lieferte. Demnächst hat Herr Beck in Darmstadt in einer Broschüre („Bemerkungen zu F. Reuleaux's Kinematik“) die Anmerkung, welche Reuleaux über den Begriff Reibung macht, einer Kritik unterzogen. Alle diese Besprechungen lassen jedoch noch Manches unerörtert, und ich will daher in Folgendem versuchen, auch mein Scherflein zur Vervollkommnung der von Reuleaux angeregten Auffassung der Kinematik beizutragen. Für Alle, die sich mit Kinematik befassen haben, wird es ziemlich unnöthig sein, die Lehren des Reuleaux'schen Buches noch einmal zu citiren und ich will daher die Gegenstände in der Form in welcher sie entstanden sind, nämlich als ganz selbstständige Betrachtungen vorführen, indem ich noch bemerke, dass nur solche Punkte der Betrachtung unterzogen sind, welche bei Reuleaux mehr oder weniger unvollkommen bleiben.

Zunächst fragen wir nach einer allgemein gültigen Begriffs-erklärung. Wir finden bei Reuleaux angegeben: die Kinematik ist die Wissenschaft von den besonderen Einrichtungen der Maschine, vermöge deren die Bewegungen in derselben, soweit sie Ortsveränderungen sind, zu bestimmten werden. Diese Erklärung setzt den Begriff der Maschine voraus. Dieser Begriff ist nach Reuleaux definirt als Verbindung widerstandsfähiger Körper, welche so eingerichtet ist, dass vermöge ihrer mechanische Naturkräfte gezwungen werden können, unter bestimmten Bewegungen zu wirken.

Eine Maschine besteht also erst wieder aus Elementenpaaren; wir fragen uns desshalb, sollten wir nicht auf den Begriff Kinematik kommen, ohne den der Maschine vorauszusetzen? Alles was uns die Maschine Bleibendes bietet sind „Körper“. Die Naturkräfte treten daran vorübergehend auf. Die Körper sind so angeordnet, dass sie sich auf einander bewegen können. Mehr können wir vor der Hand nicht sehen. Wenn uns nun überhaupt Körper, die sich auf einander bewegen, in das Gebiet der Kinematik führen, so ist kein Grund vorhanden, wesshalb das nicht alle Körper thun sollten und wesshalb nicht jede Bewegung von Körpern auf einander schlechtweg in das Gebiet der Kinematik führen sollte. Versuchen wir daher, ob wir nicht an dem Satze: „die Kinematik ist die Lehre von der Fortbewegung der Körper auf einander“ eine brauchbare Definition des Begriffes Kinematik haben.

Um zu sehen, ob diese Definition brauchbar ist, fragen wir die Mechanik und die Physik nach den hier vorausgesetzten Begriffen „Bewegung“ und „Körper“. Ausserdem constatiren wir, dass das „aufeinander“ fortwährend das Vorhandensein zweier Körper verlangt, und dass diese einander beständig berühren müssen. Den Begriff „Bewegung“ werden wir nicht gut weiter zerlegen können; über „Körper“ aber gibt uns die Physik die beherzigenswerthe Lehre, dass wir feste, flüssige und luftförmige Körper wesentlich unterscheiden müssen. Die Kinematik hätte also sechs Arten von Bewegung zu betrachten: fest auf fest; fest auf flüssig; fest auf luftförmig; flüssig auf flüssig; flüssig auf luftförmig und luftförmig auf luftförmig. Die Betrachtung geht sehr gut bei zwei festen Körpern; auch noch bei zwei Flüssigkeiten; aber bei Gasen ist es schwer zu sagen, ob von ihnen zwei sich auf einander bewegen können oder nicht. Zwei über einander hergehende Windströmungen machen dies sehr wahrscheinlich, während Mischung und Diffusion dem entgegenstehen. Bei Flüssigkeiten ist es sehr gut denkbar, dass eine Wasserkugel auf weissglühendem Eisen, oder dass eine Oelschicht auf einer Quecksilberschicht sich bewegt; dagegen ist es nicht möglich, Alkohol auf Wasser, oder Schwefelsäure auf Kochsalzlösung zu bewegen. Solche Unmöglichkeiten der Bewegung liegen aber auch bei festen Körpern vor. Eine Reibplatte schwedischer Streichhölzerschachteln auf einem Stück entsprechender Zündmasse gerieben, möchte verwinkelte Bewegungserscheinungen liefern.

2. Solchem Verhalten der Körper gegenüber ist die Kinematik gesichert, sobald wir verlangen, dass 1) chemische und entsprechende physikalische Actionen von der Betrachtung fern bleiben, und 2) dass die Körper relativ undurchdringliche Oberflächen haben. Es ist hier zu beachten, dass durch die Undurchdringlichkeit der Oberflächen die Aenderung derselben an Gestalt und

Grösse durchaus nicht ausgeschlossen ist. Dies zeigen uns deutlich die Flüssigkeiten, die bandförmigen und die gasförmigen Körper.

Wir können nämlich einen festen Körper definiren als einen, der neben unveränderlichem Volum eine an Gestalt und Grösse unveränderliche Oberfläche hat. Beim bandförmigen Körper (Seil, Riemen, Draht) ist die Gestalt der Oberfläche durch beliebig kleine Kräfte veränderlich, während ihre Grösse und das Volum des Körpers constant sind. Bei der Flüssigkeit ist das Volum noch unveränderlich; die Oberfläche aber an Gestalt und Grösse variabel. Bei dem Gase ist auch noch das Volum durch die kleinsten Kräfte veränderlich. Hierzu gesellen sich noch die biegsamen und knetbaren Körper als solche, deren Oberfläche ihre Gestalt, respective Gestalt und Grösse nicht mehr unter Einwirkung beliebig kleiner Kräfte, sondern erst unter Beanspruchung durch sensible Kräfte von bestimmter und beträchtlicher Grösse ändern (Federn, Wachs, glühendes Eisen, Gummi).

Die Aufführung dieser Definitionen der verschiedenen Aggregatzustände vermissen wir noch recht sehr in unseren Physikbüchern. Für die Kinematik scheint es mir besonders wichtig, sie aufzustellen, da es sich hier darum handelt, die für die mathematische Betrachtung nothwendige Schärfe der Begriffe herzustellen; und gerade da die Physik uns sagt, dass z. B. kein Körper absolut fest ist, müssen wir angeben können, wann und wie wir ihn noch als fest in die Rechnung einführen wollen. Die Handhabung unserer Definitionen können wir recht gut an den ductilen Elementen sehen, wir können diese nämlich so in die Maschine einfügen, dass sie sich wie feste Körper verhalten; es fragt sich unter welchen Bedingungen wird ein ductiler Körper dies thun? Die Antwort ist nach unserer Definition leicht. Wir geben den ductilen Elementen noch die Eigenschaften der Oberfläche, welche dieselbe bei einem festen Körper haben muss, also dem Bande eine constante Gestalt, der Flüssigkeit eine constante Gestalt und Grösse der Oberfläche und dem Gase ausserdem ein constantes Volumen. Gewöhnlich nun gehen wir nicht darauf aus, die ductilen Elemente an Stelle der festen zu setzen, sondern wir benutzen gerade die Variabilität und zwar in der Weise, dass wir der Veränderlichkeit der Oberfläche, welche an sich ganz beliebig ist, eine bestimmte Bahn vorschreiben. So z. B. haben wir beim Riemetrieb die Bahn so vorgezeichnet, dass der Riemen sich stets von der geraden Gestalt in die kreisförmige biegen muss. Bei einer Rohrleitung, sowie bei der hydraulischen Presse zeigen wir der Flüssigkeit die Bahn an, welcher sie ihre Oberfläche anzuschmiegen hat. Die Anweisung eines bestimmten Volums sehen wir bei den Gasen unserer Kraftmaschinen, indem hier das Volum in jedem Augenblick durch den widerstehenden Druck bestimmt wird.

3. Wenn wir jetzt die ferneren Eigenschaften der Materie (Gewicht, Trägheit, Reibung) als erst später wesentlich unbeachtet lassen, so sind wir gänzlich in die Hände der Mathematik gerathen; denn sämtliche Oberflächen, ob constant oder variabel werden durch sie bestimmt. Wir können daher sagen: die Kinematik ist die Lehre von der Bewegung undurchdringlicher Oberflächen auf einander. Sie ist also ein Theil der kinematischen Geometrie des Raumes mit der Nebenbedingung, dass die auftretenden Flächen nicht starr sein brauchen.

Diese Definition erscheint etwas abstrakt, oder gar gesucht; indessen wir haben doch eine Definition, in welcher nur bekannte Begriffe vorkommen, und mit einiger Consequenz lässt sich auch die Betrachtung der aus vielen Gelenken zusammengesetzten kinematischen Ketten darauf zurückführen. Es ist hier nur störend, dass die Theile der Oberflächen, an welchen wirklich Gleitung oder Rollung stattfindet, oft unwesentlich erscheinen gegenüber den Theilen derselben, welche willkürlich gestaltet sein können. Indess das gesetzmässige der Bewegung wird doch nur durch diese Flächen hervorgebracht, selbst wenn sie noch so winzig sind. Dass die Definition in ihrer Allgemeinheit die gesammten Hilfsmittel der kinematischen Geometrie der Ebene und die Resultate über räumliche Bewegung von Punkten sowie sämtliche Mittel der Rechnung voraussetzt, ist selbststredend; ebenso wie wir wohl vor der Hand sagen dürfen, dass das in dieser Definition vorgezeichnete Feld in seiner Allgemeinheit bis jetzt sowohl analytisch, wie synthetisch erst wenig untersucht ist.

Suchen wir jetzt aus der Definition heraus die Begriffe der Kinematik zu gewinnen. Die Flächen der Mathematik lassen sich eintheilen in niedere und höhere. Ebene, Kugel, Prisma, Kreiskegel können niedere heissen. Die Anzahl der höheren ist unbeschränkt. Wir haben von ihnen die Umdrehungsflächen, Schraubenflächen und abwickelbaren Flächen als die zunächst liegenden.

Als für die Bewegung nicht unwesentlich seien hier die Arten der Berührung unterschieden als Berührung 1) in endlich grossen Flächen, 2) in einem Flächendifferentiale erster Ordnung (Linie), 3) in einem Flächen Differentiale zweiter Ordnung (Punkt).

Obgleich dieser Unterschied ja auf der Hand liegt, führe ich ihn hier an, um darauf aufmerksam zu machen, dass die Linie und der Punkt hier stets als Flächendifferentiale aufzufassen sind, also in der Rechnung als adx und als $dx dy$ erscheinen müssten. Es ergibt sich dies daraus, dass wir nur mit Oberflächen zu thun haben und macht uns gleichzeitig darauf aufmerksam, dass wir bei dem Problem der Stützung uns den Körper stets durch Flächenstücke eingeschlossen zu denken haben.

Diese verschiedenen Arten der Berührung machen sich in ganz bestimmter Weise geltend: so z. B. können Ebene und Kugel einander nicht anders als in einem Punkte berühren, während Ebene und vollständiger Kegel sich nur in gerader Linie berühren können, u. dgl.

Die Zusammenstellung der verschiedenen mathematischen Flächen muss uns auf die bekannten Elementenpaare führen. Zwei Ebenen, zwei in einander gesteckte gleich grosse Kreiscylinder, zwei ebensolche Kugeln berühren sich in endlichen Flächen und können sich nach zwei auf einander senkrechten Coordinaten-Axen bewegen. Zwei congruente Prismen, zwei ebensolche Umdrehungskörper und schliesslich noch congruente Schraubenflächen berühren sich in endlich grossen Flächen und gestatten nur Bewegung nach einer Dimension des Raumes. Nach Reuleaux sind die drei letzteren Elementenpaare die einzigen sogenannten Umschlusspaare, d. i. Paare mit Berührung in endlichen Flächen. Ebenso möchten wohl Kugel, Kreiscylinder und Ebene als entsprechende Paare einzuführen sein, in welchen Beweglichkeit nach mehreren Dimensionen stattfindet. Auf diese Weise liefern uns die sechs einfachsten Flächen der Stereometrie die sechs einfachsten Elementenpaare. Unter diesen steht die Kugel für sich, insofern sie Drehung um alle drei Axen gestattet, während Ebene und Cylinderpaar nur nach zwei Axen beweglich sind.

4. Da die Zusammenstellung von ferneren Flächen zu sogenannten höheren Elementenpaaren keine Grenze hat, so bleiben wir bei den genannten niederen stehen und fragen uns in welchem Verhältniss stehen die ersteren drei Paare zu den letzteren? Die ersteren scheinen für die Maschine fernliegend zu sein; allein das Kugelgelenk drängt sich bereits vollständig in die zweite Gruppe. Vor Allem aber stehen die Paare mit Beweglichkeit nach mehreren Dimensionen zwischen dem gewöhnlichen machinalen System und dem sogenannten kosmischen; insofern im kosmischen jede, auch die kleinste sensible Kraft eine Aenderung der Bewegungsrichtung hervorbringt, während im maschinalen keine irgendwie gerichtete Kraft die Bewegungsrichtung ändern kann, sondern nur die Geschwindigkeit. Bei dem Kugel-, Ebenen- und Cylinderpaar aber können Kräfte, die normal zur Fläche gerichtet sind, keine Wirkung hervorbringen, während die tangentialen sich wie im kosmischen System geltend machen. Um dies Verhältniss klar zu legen, sehen wir von dem Postulat des „aufeinander“ unserer Definition einen Augenblick ab, und stellen uns einen Körper im absolut leeren Raum vor. Er befindet sich in einem absoluten kosmischen System (Fig 1). Theilen wir jetzt den Raum durch eine unendliche Fläche, etwa eine Ebene, in zwei Theile, so ist die Bewegung des Körpers in der Richtung nach dieser Fläche hin begrenzt, während sie in der anderen Richtung

unbegrenzt ist (Fig. 2). Befindet sich der Körper zwischen zwei solchen parallelen Flächen, so ist seine Beweglichkeit nach beiden Richtungen der einen Dimension begrenzt, während nach den beiden andern Dimensionen die Beweglichkeit vollständig geblieben ist (Fig. 5). Begrenzen wir jetzt durch Querflächen auch diese Beweglichkeit, so schliessen wir zuletzt den Körper in einen Würfel ein, innerhalb dessen er sich wie im kosmischen System bewegen kann (Fig. 10). Rücken wir zwei einander gegenüberstehende Flächen des Würfels so nahe zusammen, dass der Körper keinen Spielraum hat, so ist die Beweglichkeit nach einer Dimension des Raumes ganz ausgeschlossen (Fig. 11). Dies ist der Fall der oben genannten drei Paare mit Bewegung nach zwei Dimensionen. Auch hier können wir die Beweglichkeit nach den beiden übrig bleibenden Dimensionen begrenzen, und schliesslich nach einer Dimension aufheben, wir haben dann nur noch freie Beweglichkeit nach einer Dimension, dies ist der Fall der gewöhnlichen kinematischen Kette (Fig. 17). Selbst hier können wir erst nach einer Richtung und schliesslich nach beiden begrenzen, so erhalten wir den Fall der gewöhnlichen Sperrwerke und Schaltwerke (Fig. 18 u. 19). Schliessen wir auch nach diesen letzten beiden Richtungen Beweglichkeit aus, so haben wir feste Verbindung (Fig. 20).

Nach dieser Betrachtung haben wir zwanzig Systeme zu unterscheiden, die in den No. 1 bis 20 der beigegebenen Figurentafel schematisch angedeutet sind. Dieser Unterschied der Systeme von verschiedener Bewegungsfreiheit ist bisher nicht gemacht worden. Reuleaux unterscheidet nur ein kosmisches und ein machinales System als solche, in denen nur sensible Kräfte auftreten und solche in denen sensible und latente Kräfte gemischt auftreten. Herr Rittershaus in der erwähnten Abhandlung unterscheidet bereits die No. 10, 11, 17, und 20.

Ohne Kenntniss der Unterscheidung von Rittershaus wurde die fortlaufende Reihe dieser Systeme von mir als nothwendige Consequenz aufgefunden. Anfangs betrachtete ich dieselbe mehr als Spielerei, indessen scheint es mir nachgerade, als ob wir zum vollen Verständniss unserer Maschinen die ganze Reihe festhalten müssen; denn es ist ja kein Grund ersichtlich, wesshalb irgend eins der Systeme ausgeschlossen sein sollte, und die Natur pflegt sich in der Mannichfaltigkeit und kalten Gesetzmässigkeit ihrer Erscheinungen keine Beschränkungen aufzuerlegen. In der That können wir bei Betrachtung einer Schleudervorrichtung System 1 schwer umgehen. Bei dem Werfen eines Körpers auf eine Ebene, die in ihrer Begrenzung unbestimmt ist, taucht System 2 auf; System 9 sehen wir an unseren gewöhnlichen Billards, sobald wir den Körper als die betreffende Fläche berührend denken. Die sich auf einer Ebene fortbewegenden Fuhrwerke können wir

sowohl zu Nr. 11 wie zu Nr. 2 rechnen. System 10 können wir bei der Betrachtung zweier in einander gefügter gewöhnlicher Kettenschaken nicht umgehen, denn sobald die Berührung der Schaken aufgehoben wird, kann ich sie nach allen Richtungen ganz wie im kosmischen System bewegen, nur dass diese Bewegung begrenzt ist. Die Bewegung der Kaffeebohnen in einer Brenntrommel und wenn wir wollen ein an einem Bindfaden befestigter Körper, d. i. das Kugelpendel gehören auch hierher. In dieser Weise werden wir oft genöthigt, uns die Systeme der verschiedenen Beweglichkeitsgrade zu vergegenwärtigen, und zwar in einer sehr geläufigen Weise, da es sich meist um den Uebergang aus dem einen System in ein anderes handelt.

5. Die ersten zehn dieser Systeme gehören in sofern nach unserer obigen Definition nicht in das Gebiet der Kinematik, als sie nicht von der Bewegung der Körper auf einander handeln, sondern davon, wie dieselben im Raume zu einander liegen. Trotzdem werden sich diese Systeme zur Betrachtung herandrängen. Relativbewegungen werden wir an ihnen nicht zu betrachten brauchen, denn die Kinematik braucht nur die Relativbewegungen zu betrachten, welche sich bei Bewegung von Körpern „auf einander ergeben“, und diese bieten auch Stoff genug für Anwendung aller Hilfsmittel der kinematischen Geometrie. Wir haben aber von den Systemen Notiz zu nehmen, weil wir im unendlichen Raum Stellen bezeichnet haben, an denen kinematische Betrachtung eintreten muss. Berührt in System 10 der Körper eine der Ebenen, so befindet er sich wie in System 11. Berührt er eine Kante, so haben wir System 17; berührt er eine Ecke, so haben wir No. 20. In dem Augenblick, wo die Berührung aufhört, haben wir wieder ein kosmisches System vor uns. Ein Beispiel hierzu liefert das Kugelventil. So lange es geschlossen ist, haben wir No. 20; sobald die Kugel sich hebt, bewegt sie sich wie in No. 10. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Berührung durch beliebig klein zu wählende sensible Kräfte ohne Weiteres aufgehoben werden kann, während um dasselbe in No. 11 und 20 zu bewirken, die latente Kraft der Grenz wand zerstört werden muss.

Dies führt uns auf den Unterschied zwischen Kraftschluss und Paarschluss. Reuleaux giebt keine Definition dieser Begriffe, sondern sagt nur, dass wir auch durch sensible Kräfte eine Schliessung bewirken können. Die ganze Auseinandersetzung ist so gehalten, dass der Kraftschluss als der strengen Betrachtung ferner stehend erscheint, als der Paarschluss. Bei der Häufigkeit, in der wir den Kraftschluss finden, wird es gut sein, beide Arten als ganz gleichberechtigt anzusehen und nur den charakteristischen Unterschied zwischen beiden aufzusuchen. Dieser dürfte wohl darin bestehen, dass bei dem Paarschluss zur Ueberführung des

bewegten Körpers in ein System von höherer Bewegungsfreiheit die Vernichtung von Cohäsion, also die Ueberwindung latenter Kräfte erforderlich ist, während bei Kraftschluss eine derartige Vernichtung nicht stattfinden darf. Einen Paarschluss können wir direct hervorbringen durch Nieten, Löthen, Leimen, Kitten, Schweissen und Falzen; Kraftschluss entsteht durch Reibung, Schwerkraft und Federn. Sobald wir uns dafür entschieden haben, die Bewegungshindernisse durch Reibung als Kraftschluss hervorbringend anzusehen, werden wir finden, dass der Kraftschluss häufiger vorliegt, als wir denken; so z. B. ist dann jede Befestigungsschraube nur kraftschlüssig gehalten, da allein die Reibung sie hindert, dem mathematischen Gesetze zu folgen, das unter allen Umständen ein Herausdrehen vorschreibt. Ein solches zeigt sich in der That noch bei allen stark erschütterten Verschraubungen. Zu beachten ist oft eine Combination von Kraftschluss und Paarschluss, z. B. bei den Deckeln von Schwungradlagern, bei denen die Kraft der Pleuelstange, sobald sie nach oben gerichtet ist, nur zum Theil auf Cohäsionszerstörung wirken kann, während der andere durch das Gewicht des Schwungrades aufgehoben wird.

6. Wenden wir uns zur weiteren Betrachtung noch einmal zu unseren zwanzig Systemen der verschiedenen Bewegungsfreiheit zurück. Es ist in diesen von dem Begriff der Drehung gar keine Rede. Wir haben über die Gestalt des bewegten Körpers gar keine Voraussetzungen gemacht, und ihn uns stillschweigend als Punkt gedacht. Hätten wir eine Gestalt festgesetzt, so hätten wir die Drehung nicht mehr meiden können und wären, da in den Systemen 1 bis 10 die Gestalt ganz unwesentlich ist, in den folgenden Nummern auf das Kapitel der Stützung gekommen. Sehen wir, was sich unter Beibehaltung unserer stillschweigenden Voraussetzung über die Drehung sagen lässt.

Stellen wir den Punkt A (Fig. 21) der unendlich grossen Fläche B gegenüber. Ebenso wie oben sagen wir jetzt, es ist nicht gleichgültig, ob der Punkt einen vollen Kreis durchlaufen kann, oder nur Segmente. Wir ziehen die Normale AB und sehen sofort, dass jenseits A jeder Punkt der Normalen als Drehpunkt ganze Kreise gestattet; auch zwischen A und B thun dies die Punkte, die näher an A als an B liegen; auch neben AB finden sich solche. Es fragt sich: welches ist der Ort aller dieser Punkte. Hierzu müssen wir über die Gestalt von AB etwas festsetzen. Nehmen wir B als eine Ebene an, so liegt die Grenze da, wo der Drehpunkt von A ebenso weit entfernt ist wie von der Ebene B. Für jede durch AB gelegte Ebene stellt sich also die Grenze als Parabel dar mit A als Brennpunkt und AB als Parameter. (Fig. 21.) Für den Raum zeigt sich also ein Umdrehungsparaboloid als Grenze. Alle Drehaxen, die dies Para-

boloid schneiden, gestatten volle Kreise, wie dies auch für die gegen AB windschief gerichteten Axen durch leichte stereometrische Betrachtung ersichtlich ist. Die übrigen Axen diesseits B gestatten Bögen grösser als der Halbkreis; die Axen jenseits B nur Bögen kleiner als der Halbkreis. Die Drehpunkte für die Maximalbögen liegen auf AB. Fällt A nach B, so geht das Paraboloid in die Normale über, und die Rückwärtsverlängerung gestattet keine Drehung mehr. Wir sehen hierbei, nach welchem Gesetze sich bei der Annäherung eines Punktes an eine Fläche die Zahl der Punkte vermindert, um welche der Körper volle Kreise beschreiben kann. Um für die oben genannten Systeme die Felder der freien Drehbarkeit zu bestimmen, zeichnen wir für jede Begrenzungsfläche (bei beliebig gestalteten Körpern unter Berücksichtigung der Aquidistanten) die geometrischen Oerter. Bleibt ein allen gemeinschaftlicher Raum, so ist um jede ihn schneidende Axe freie Drehung möglich. Es ist diese Aufstellung der Grenzen für die freie Drehbarkeit eine nothwendige Consequenz aus der Aufstellung der Systeme für die Verschiebbarkeit, und es möchte daher gut sein, auch sie dem Gebiete der Kinematik anzufügen.

7. Von No. 17 an kommt die Drehung abgesehen von der Krümmung der vorgeschriebenen Bahn nur in Betracht, wenn die Aufgabe gestellt ist, einen Körper von bestimmter Gestalt so durch Flächen einzuschliessen, dass Verschiebung und Drehung nur in beschränktem Maasse statthaft sind. Wie hierbei für ebene Figuren zu verfahren sei, ist in der theoretischen Kinematik von Reuleaux unter dem Kapitel der Stützung auseinandergesetzt. Für den Raum indessen begnügte sich Reuleaux mit der Angabe der Uebertragung aus der Ebene und auch anderweitig ist eine Lösung des Problems noch nicht gegeben worden. Es stellt sich hier die Schwierigkeit heraus, dass die Normale zur Stützebene nicht mehr Rechtsdrehung und Linksdrehung scheidet, und dass mehrere dieser Normalen sich für gewöhnlich nicht schneiden. Wir suchen trotzdem nach dem Prinzip der ungleichnamigen Deckung zum Ziele zu gelangen. Wir sehen, dass jede durch die Normale gelegte Ebene Rechtsdrehung und Linksdrehung trennt, ganz wie dies in der Ebene eine Normallinie thut. Die Lage einer solchen Normalebene ist noch ganz unbestimmt gelassen. Ziehen wir nun die kürzeste Linie zwischen je zwei Stütznormalen und legen durch diese und je eine Normale die Ebenen, so zeigen sich Felder, in denen um alle zu obiger kürzester Linie parallelen Axen nach dem Prinzip der ungleichnamigen Deckung keine Drehung stattfinden kann. Sobald in einem Raume um drei solcher Axen Drehung unmöglich ist, findet für die Punkte dieses Raumes Ruhe statt. Lassen sich also an allen Stellen des un-

endlichen Raumes wenigstens drei solcher Felder nachweisen, so ist die Stützung gegen Verdrehung vollzogen.

Zur Aufsuchung der Verschiebungsfelder dienen Ebenen, die durch die Stütznormalen parallel zur Schnittlinie zweier Begrenzungsflächen gelegt, in ähnlicher Weise wie in der Ebene zum Ziele führen.

Diese Andeutungen hier weiter zu führen, ist hier nicht der Ort, da ja nichts weiter nöthig ist, als die Aufstellung besonderer Fälle; eine Arbeit, die allerdings eine hübsche Uebung in stereometrischer Betrachtung ist.

8. Wenden wir uns jetzt zu einem anderen Gebiete, in welchem der Begriff der Maschine im Gegensatz zu diesen fast rein geometrischen Begriffen und auch im Gegensatz zu dem schon ferner liegenden Begriff der kinematischen Kette hervortritt. Es ist dies das Kapitel von der Berechtigung der Begriffe Receptor und Werkzeug, sowie der damit eng zusammenhängenden „Motor“ und „Werkstück“. Reuleaux folgert in seiner Kinematik, S. 480: „somit ist der Begriff des Werkzeuges nicht ein eigentlicher Stammbe-
griff der Maschine, sondern nur ein zufälliges Merkmal derselben und kann daher als Grundlage des Verständnisses der vollständigen Maschine nicht dienen. „Ebenso wird S. 490 gefolgert: „dass auch der Begriff Receptor nicht ein für die vollständige Maschine wesentlicher Stammbe-
griff ist.“

Diese Sätze widersprechen so sehr den bisherigen Anschauungen, und an vielen Maschinen sind die erwähnten Begriffe so schön zu kennzeichnen, dass es mir passend erschien, dieselben näher zu prüfen. Als Resultat glaube ich gefunden zu haben, dass die Begriffe „Receptor“ und „Werkzeug“, nebst denen des Motors, des Werkstücks und der Transmission durchaus wesentlich für die Maschine sind, wenn es auch an vielen Stellen mehr oder weniger unserer Willkür überlassen bleibt, wo die eine dieser Bezeichnungen aufhören und die andere anfangen soll. Nach der Definition von Reuleaux ist die Maschine eine Körperverbindung, die so eingerichtet ist, dass mittelst ihrer mechanische Naturkräfte genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen zu wirken. Hiernach, sowie nach andern Definitionen haben wir uns eine oder mehrere Kräfte als ausserhalb der Maschine stehend zu denken. Diese können die Maschine nicht überall gleichzeitig afficiren, sondern es muss sich eine Stelle nachweisen lassen, an welcher die Einwirkung beginnt. Diese Stelle markiren wir und nennen sie Receptor. Haben wir mehrere Kräfte, so haben wir mehrere Receptoren. Leiten wir Kraft in einen Mechanismus ein, so müssen wir, um Massenbeschleunigung ins Unendliche zu vermeiden, dieselbe auch wieder ausleiten. Es muss sich also auch wenigstens eine Stelle nachweisen lassen, an welcher diese Ausleitung vor sich geht. Diese

Stelle wollen wir auch markiren und vor der Hand „Werkzeug“ nennen. Der ganze Mechanismus dient zur Verpflanzung der Kraft von der einen Stelle zur andern, er ist also Transmission. Bei dieser Vorstellung kümmern wir uns gar nicht darum, woher die Kraft kommt und wohin sie geführt wird. Wir können aber kurzweg sagen, zu einem Receptor muss ein Motor gehören, d. h. Etwas, woher er die Kraft nimmt und zu dem Werkzeug muss ein Werkstück gehören, d. i. Etwas wohin die Kraft definitiv übertragen wird.

Machen wir uns hiervon ein rohes Bild an einem Kurbelviereck. Der Mechanismus Fig. 23 ist auf *d* festgestellt; auf *a* wirkt eine Kraft ein; auf *c* ein Widerstand; etwa in Form von fortzuschneidendem Material. Was heisst nun aber *d* steht fest und *a* bewegt sich? Nichts anderes, als wir ändern die Relativlage von *a* gegen *d*. In obiger Figur erscheinen uns Motor und Werkstück als ausserhalb des Mechanismus stehend. Wir denken unwillkürlich daran, beide müssten dem festgestellten Gliede angehören. Sobald wir aber den Stichel und den Dampfcylinder uns in die spitzen Winkel anstatt in die stumpfen gelegt denken, sehen wir ein, dass wir sie auch ebensogut ganz von dem festen Gliede losmachen und zwischen zwei bewegliche legen können. Fig. 24 stellt einen solchen Fall dar. Wir haben hier gewissermaassen zwei Receptoren, von denen der eine die nach dem Werkzeug, der andere die nach dem Werkstück zu leitende Kraft aufnimmt. Um anzudeuten, dass die eine Seite vor der andern nichts voraus hat, ist in der Figur der Dampfcylinder mit zwei Kolben versehen. Es wird dies der allgemeine Fall sein, wenn auch oft die Versuchung nahe liegt, die Reaction gegenüber der Action zu vernachlässigen. Da das festgestellte Glied immer eine bevorzugte Stellung einnimmt, insofern als wir unsere Person mit ihm fest verbunden denken, so wird es gut sein, in Bezug auf Einleitung und Ausleitung von Kraft die vier Fälle zu unterscheiden, dass 1) Motor und Werkzeug sich beide gegen das feste Glied stützen, 2) dass der Motor dies noch thut, während das Werkzeug gegen ein bewegliches Glied arbeitet, 3) dass der Motor zwischen zwei beweglichen liegt, das Werkzeug aber gegen das feste arbeitet, 4) dass beide zwischen beweglichen angebracht sind.

Ferner ist zu unterscheiden, ob beide zwischen zwei unmittelbar auf einander folgenden Gliedern wirken, oder ob die afficirten Glieder erst durch Verkettung verbunden sind. Auch aus diesem Umstande lassen sich wieder Unterabtheilungen bilden. Fig. 25 zeigt einen solchen Fall. Es ist bemerkenswerth, dass der Längsschnitt des angedeuteten Dampfcylinders jetzt kein Kreisring mehr ist, sondern durch anderweitige Punktbahnen bestimmt wird, die bei der Relativbewegung entstehen. Da dies

höhere Curven sind, so kann zwischen Cylinder und Kolben nur noch Berührung in einer Linie, nicht aber in einer Fläche stattfinden.

Wir sehen an den gezeichneten Figuren, dass um die Kraft ein- und auszuleiten zwei neue Paarungsstellen nöthig sind, so dass die betheiligten Kettenglieder unter allen Umständen drei Laufflächen haben. Wir haben also sofort den Fall der zusammengesetzten Kette.

9. Fragen wir uns, ob die Ausnahme der Kraft einfach an den vorhandenen Paarungsstellen stattfinden kann, und welches wohl die einfachste Art ist, die Kraft auszuleiten. Eine hinreichend starke Zusammenpressung der Laufflächen kann soviel Reibung hervorbringen, dass die Herausnahme durch ein besonderes Glied erspart wird. Hierdurch aber haben wir nur eine scheinbare Vereinfachung, denn wir haben der Paarungsstelle zwei Functionen aufgebürdet: 1) die Führung der dort zusammenstossenden Kettenglieder und 2) die Umsetzung der irgendwo eingeleiteten Kraft in Wärme. Ausserdem müsste die Möglichkeit gegeben sein, den Widerstand nach Willkür zu erneuern. Dies lässt sich hier nur unter Zulassung einer Abnutzung bewirken, welche die Relativlagen und Bewegungen der vorgelegten Kettenglieder beeinträchtigt. Wir können hiernach als Grundsatz annehmen, dass die Glieder, an welche Motor und Werkstück angreifen, drei Paarungsstellen haben, während die übrigen Glieder nur zwei zu haben brauchen. Finden wir an einem Mechanismus, dass Einleitung und Ausleitung ohne diese zweimal drei Paarungsstellen vor sich gehen, so haben wir dies dem Eingreifen von Kraftschluss und Reibung, sowie den Eigenthümlichkeiten der ductilen Elemente zuzuschreiben, welche bewirken können, dass mehrere Functionen auf dasselbe Laufflächenpaar übertragen werden.

Sehen wir uns das Verhältniss an einem möglichst einfachen Beispiel an. Ein Farbenreibstein, der durch den Arm bewegt wird, ist eine der einfachsten Maschinerien. Es liegt Fig. 26 bei A das Schultergelenk, bei D liegt der Widerstand, bei B der Motor. Wir haben den Mechanismus der geschränkten Schubkurbelkette vor uns. Wir setzen nichts voraus, als Drehbarkeit um parallele Aachsen bei A, B u. C. Die Verschiebbarkeit nach der Seite muss besonders aufgehoben werden. Hierzu ist eine Prismenführung bei D nothwendig. Die Hervorbringung des Widerstandes erfordert die Einführung der zu reibenden Farbe und einer sensibeln Kraft, welche den Stein gegen die Platte drückt. Anstatt dessen denken wir uns einen Stichel an CD und eine zu bearbeitende Leiste an dem festen Gliede AD angebracht, so haben wir an beiden Gliedern die dritte Paarungsstelle. Der Muskelstrang in dem Gelenk bei B brauchte, wenn er sich nur geradlinigt zusammenziehen und ausdehnen könnte, auch zwei Ge-

lenke an seinen Endpunkten; aber da wir ihn als plastischen Körper annehmen, setzen wir voraus, dass er neben seiner geradlinigten Zusammenziehung auch noch die seitlichen Biegungen ausführen kann, die durch Aenderung des Winkels an den Befestigungsstellen auftreten. Aehnliche Reductionen lassen sich an den allermeisten Maschinen vornehmen.

10. Für die weitere Betrachtung ist es offenbar von Wichtigkeit, ob die vorgelegte Körperverbindung noch zu den eigentlichen Maschinen zählt, oder ob sie bereits zu den von Wiebe aufgestellten Kategorien des Instruments und des Apparats gehört. Vergegenwärtigen wir uns die Arten der Maschine, welche sich nach der Grösse und Dauer der einwirkenden Kräfte ergeben, so sehen wir, dass Werkzeug und Werkstück durch Reibungsstellen oder sensible Kräfte und bei discontinuirlicher Bewegung auch unter einander abgelöst werden können, und dass die Wichtigkeit der Krafteinleitung und Ausleitung bei den einzelnen Arten der Maschinen sehr verschieden ist.

Das Ideal der Maschine ist jedenfalls die, bei welcher eine grosse Kraft dauernd an einer Stelle eingeleitet und möglichst ungeschwächt an einer andern Stelle ausgeleitet wird. Hier werden wir immer unsere Begriffe bestimmt ausgeprägt vorfinden. Dauert die Einwirkung einer grossen Kraft nur kurze Zeit wie bei den Waagen, Manometern u. dgl., so kümmern wir uns bereits wenig um Receptor u. dgl. Es folgt der Fall, dass eine grosse Kraft nur einen momentanen Druck hervorbringt, aber keine Arbeit verrichtet, wie bei der Buchdruckerpresse. Auch hier sind wir wenig geneigt, Werkzeug und Werkstück zu betonen. Es folgen die Maschinen, in welche dauernd eine Kraft eingeleitet wird, die keine Arbeit verrichten, sondern nur die Relativbewegungen aufrecht erhalten soll. Hier liegen die Werkzeugstellen durch den ganzen Mechanismus zerstreut in Gestalt von Reibungsstellen. Es ist dies der Fall der Uhren und Lokomotiven. Bei ersteren machen wir die Reibung möglichst klein, bei letzteren nach Belieben gross. (Ein anderer Unterschied ist in dieser Richtung nicht vorhanden, denn was für den Menschen die Locomotive ist, ist für ein Marienwürmchen, das sich auf einen Zeiger setzt, die Uhr.) Endlich wird nur ein Minimum von Kraft eingeleitet, während auch die Bewegung nur ganz kurze Zeit dauert. Dies ist der Fall der Theodolithen, Rechenmaschinen und dergleichen. Hier suchen wir auch nicht viel nach Motor und Werkzeug.

11. Wenn wir uns so damit vertraut gemacht haben, dass sich eine recht bunte Mannichfaltigkeit von Körperzusammensetzungen zu unserer Betrachtung herandrängen wird, suchen wir uns Klarheit zu verschaffen über die Mittel, durch welche wir Kraft erzeugen können und über diejenigen, durch welche

wir Widerstände hervorbringen. Die Quelle der Kraft bleibt immer die Wärme. Die Sonne liefert uns das fallende Wasser und den Wind. Diese können wir nicht nach Willkür erzeugen; demnächst haben wir die Muskelkraft der Thiere als ganz in unserer Willkür stehend und die Wärme unserer Brennmaterialien in Verbindung mit dem Expansionsvermögen der Gase. Schliesslich die Schwerkraft. Elektrizität und Magnetismus brauchen wir nur beiläufig zu erwähnen. Die Möglichkeit durch Wärme Bewegung hervorzubringen, beruht einzig auf der Eigenschaft, die Körper auszudehnen. Wir werden daher ausser der Wärme immer einen Körper als Vermittler zwischen Maschine und Brennstoff nöthig haben.

Die Hervorbringung der Widerstände geschieht 1) durch Aufspeicherung der eingeleiteten Arbeit, (Heben von Gewichten, Comprimiren von Gasen, Einleitung in Federn und Spannwerke, Massenbeschleunigung) 2) durch Zerstreuung der eingeleiteten Arbeit in Gestalt von Wärme. Dies geschieht durch Ueberwindung sensibler oder latenter Kräfte unter Auftreten von Reibung oder Cohäsionszerstörung, sowie durch Formveränderung an biegsamen oder knetbaren Körpern (Bandagenbiegen, Walzen u. dgl.). Ein anderer Unterschied wäre der, die Ueberwindung sensibler und latenter Kräfte zu trennen; aber auch hier würden sich Unterabtheilungen ergeben und die Grenzen nicht genau festzustellen sein.

Betrachten wir zunächst die Thierkraft etwas genauer. Das Mittel diese zu übertragen sind die Gelenke. In jedem Gelenk sitzt wenigstens ein Muskel. Dieser bildet mit zwei Knochen ein Dreieck, dessen eine Seite durch Zusammenziehung und Ausdehnung des Muskels von variabler Länge ist. (Fig. 27.) Wir haben also ein Drehkörperpaar mit zwei Hebelarmen, an denen der Muskelstrang festgewachsen ist, so dass seine Plasticität die Drehung, welche an den Befestigungsstellen eintreten müsste, ohne Weiteres gestattet. Aus lauter solchen Verbindungen, die wir Muskeldreiecke nennen können, bestehen die Gliedmaassen der Thiere. Wir werden also als Repräsentanten der Thierkraft wenigstens ein solches Muskeldreieck einführen können. Das Muskeldreieck ist bereits eine Zusammensetzung. Wir könnten versuchen, ob nicht der blosse Muskelstrang sich einführen lässt. Ein solcher steht uns von Natur nicht recht zu Gebote. Wohl aber können wir ihn nachbilden in der Art wie dies bei einigen Manometern durch Einführung dünner Blechplatten geschieht. Wir bilden einen Schlauch aus dünnem Blech, (Fig. 28.) dessen Volum im Verhältniss zur Oberfläche klein ist. Diesen füllen wir mit Gas und erwärmen ihn, so findet eine Volumveränderung unter Aufwand von Druck statt. Die Veränderlichkeit ist eine geringe, da die Elasticität des Materials nicht hinlänglich gross

gefunden werden kann. Es ist diese Combination ein Uebergang zu derjenigen, in welcher der Volumvergrößerung der Gase ein bestimmter beliebig grosser Weg angewiesen wird. Den Weg der Ausdehnung bestimmen wir durch Umschliessung mittesst einer Röhre. Bringen wir in dieser an beiden Enden je einen paarschlüssig verschiebbaren Kolben an, (Fig. 29) so müssen diese verdrängt werden, ehe die Vergrößerung des Volums erfolgen kann. Die Erwärmung des Gases bringt Bewegung der Kolben hervor. Dieser Apparat vertritt den Muskelstrang.

Da das umschliessende, Rohr eine unbestimmte Lage zu den beiden Kolben hat, so können wir den einen Kolben fest mit demselben verbunden denken. Auf diese Weise erhalten wir den gewöhnlichen Dampf- oder Gascylinder.

Die Kraft des Windes und des fliessenden Wassers unterscheiden sich von der in Fig. 29 nur dadurch, dass die Bewegung, welche wir hier dem Gasvolum durch Erwärmung mittheilen, bereits vorhanden ist und in solcher Ausdehnung, dass es uns überlassen bleibt, ob die Aeusserung kraftschlüssig oder paarschlüssig vor sich gehen soll. Legen wir Windmühlenflügel an, so haben wir den Fall, dass wir in Fig. 29 bei Linie 1 einen Schnitt geführt denken, so dass die Gastheilehen unmittelbar vor dem Receptor nur kraftschlüssig geführt sind und desshalb beliebig ausweichen können. Nehmen wir dagegen Windturbinen, so haben wir den Schnitt bei Strich 2 zu denken. Bei dem Receptor ist dann der Kraftschluss bereits aufgehoben. Aehnlich ist es bei den vertikalen und horizontalen Wasserrädern.

Was nun die Widerstände betrifft, so wollen wir dieselben, so lange es geht, uns durch einen schneidenden Stichel hervorgerufen denken, damit wir die Lage von Receptor, Transmission und Werkzeug, oder wenigstens der Werkzeugstelle bestimmt angeben können.

Wenden wir uns jetzt zu der Aufgabe, an einer vorgelegten Maschine die erwähnten Begriffe nachzuweisen. Wir können nach den obigen Betrachtungen in voller Uebereinstimmung mit der Wärmetheorie sagen, der Motor ist ein Körper, der während des Ganges der Maschine fortwährend Wärme verliert, also an und für sich eine Temperaturerniedrigung erfährt. Das Werkstück ist ein Körper, der fortwährend Wärme aufnimmt, also Temperaturerhöhung zeigt. Die Transmission besteht aus Körpern, die weder eine Erhöhung noch eine Erniedrigung der Temperatur erleiden. Der Receptor ist der Theil der Transmission, der zuerst mit dem Motor und das Werkzeug der, welcher zuerst mit dem Werkstück in Berührung kommt. Dass bei der Aufstellung der Grenzen zwischen diesen Begriffen Willkür eintreten wird, ist sehr zu vermuthen. Wir sahen schon beim Muskeldreieck, dass der eigentliche Motor nur die Muskelfaser ist, während die Knochen bereits

zur Transmission gehören. Trotzdem werden wir das Thier als das Aggregat von solchen Muskeldreiecken in seiner Gesamtheit als Motor ansehen und keinen Receptor und Transmission in den Gliedmaassen selbst aufsuchen. Ein ähnlicher Umstand ergibt sich daraus, dass wir die meisten Maschinen nicht in directer Verbindung mit dem eigentlichen Motor betrachten. Die Maschinen, welche wir bisher im Auge hatten, waren ausschliesslich Kraftmaschinen. Wird aber eine Maschine von der sogenannten Transmission aus getrieben, so hat sie keinen Motor in dem oben angedeuteten Sinne. Trotzdem nennen wir die erste Riemscheibe Receptor. Und auch mit Recht, denn so lange ich meine Maschine betrachte, bekümmere ich mich nicht darum, ob ihr Betrieb zugleich mit andern erfolgt, oder ob sie ihre eigene Kraftmaschine hat; wenn ich nur weiss, an welcher Stelle die Kraft, die ich brauche, unter passender Bewegung eingeleitet wird. Ich betrachte den ganzen Apparat vor der Maschine als einen, allerdings übermässig verwickelten Motor. Ich weiss, sobald ich meine Maschine damit in Verbindung bringe, beginnt Uebertragung von Arbeit, die aus dem eigentlichen Motor entnommen wird. Wir kommen hier darauf, dass jedes Glied zu dem folgenden Motor ist, während dieses als Werkstück dient. Die Berührungsflächen sind dann Receptoren, und wenn wir wollen auch Werkzeug. Wir haben mit andern Worten nur den alten Unterschied zwischen treibendem und getriebenem Gliede. Der Unterschied gegenüber dem eigentlichen Motor und Werkzeug besteht darin, dass die Arbeit dort in den Bereich unserer Betrachtung eingeführt und aus demselben herausgeführt wird, während bei den einzelnen Kettengliedern die Uebertragung innerhalb dieses Bereiches stattfindet. Der Umstand, dass wir zwischen zwei unmittelbar auf einander folgenden Gliedern Receptor und Werkzeug in den Berührungsflächen finden können, führt uns auf die Frage, ob der Receptor eine Fläche ist, oder ein Körper. Die Antwort wird sein: er ist ein Körper; jedoch kommt von diesem nur ein bestimmter Theil seiner Oberfläche in Betracht, so dass wir auch nicht Anstand nehmen brauchen, gelegentlich diesen Theil einer Fläche als Receptor zu bezeichnen. Stützt sich der Motor gegen das feste Glied, so werden wir das erste bewegliche als Receptor bezeichnen. Wirkt derselbe zwischen zwei beweglichen, so können wir beide als solche einführen. Wollen wir an zwei auf einanderfolgenden Gliedern Receptor, Transmission u. dgl. aufsuchen, so finden wir, dass die Begriffe relativ sind. Fasse ich das erste Glied als Motor auf, so ist die Anfangsfläche des folgenden Gliedes Receptor. Fasse ich die Endfläche des ersten als auf der zweiten reibend auf, so ist das zweite Glied Werkstück. Das Glied selbst lässt sich stets als Transmission zwischen seiner Anfangs- und Endfläche auffassen. Auf diese Weise können wir in kettenförmiger

Aufeinanderfolge Glied 1 als Motor, Glied 2 mit seinen Theilen als Receptor, Transmission und Werkzeug und Glied 3 als Werkstück betrachten. Besser jedoch ist es, wir halten uns hier nur an den alten Unterschied von Treiber und getriebenem Gliede (driver und follower, actives und passives Glied).

12. Wenden wir uns jetzt zu besonderen Fällen. Das bekannte Beispiel des Scheerenschleifers zeigt eine in unserer Willkür stehende Krafteinleitung und Ausleitung, sowie dauernde Bewegung. In Fig. 30 zeigt das Kurbelviereck A B C D in der Weise, dass BC als Schleifstein, AD als Tritt Brett aus gebildet ist, den Mechanismus des Schleifsteins.

Das Hüftgelenk G des Arbeiters EG wird mit dem festgestellten Gliede AB in feste Verbindung gebracht, z. B. dadurch, dass Stein und Arbeiter kraftschlüssig auf dem Erdboden stehen. Durch das Muskeldreieck GFE mit Gelenken bei G und E ist es jetzt möglich, willkürlich Kraft einzuleiten. Um selbstständige Ausleitung zu erlangen, muss auch das Schultergelenk H mit AB fest verbunden werden. Von hier aus sorgen die Muskeln bei H und I für Hervorbringung des nöthigen Reibungswiderstandes. Wir haben hier wenigstens drei von einander unabhängige Muskelstränge, also auch drei Motoren. Jeder hat seine Function. Der bei F leitet ein; I leitet aus und der bei H in Gemeinschaft mit I sorgt für den Druck, der zur Erzeugung der Reibung erforderlich ist. Diese Verschiedenheit der Functionen wird uns nicht hindern, den Arbeiter als einen einzigen Motor gegenüber dem Mechanismus des Steins zu betrachten. Der Motor wirkt gleichzeitig auf E und auf das Werkstück bei K. In Fig. 30 ist K als Verlängerung des Unterarmes gezeichnet, so dass wir es zum Motor mitrechnen könnten. Wollen wir dies vermeiden, so eliminiren wir den Kraftschluss z. B. indem wir das Werkstück K in einer Prismenführung laufen lassen und den Stein als Fraise ausbilden. Wir sind dann gezwungen, noch ein Gelenk bei L Fig. 31 anzubringen, ersparen aber den Muskel bei H. Jetzt können wir Fig. 31 und 32 Mechanismus und Motor einander schön gegenüberstellen. Bringen wir sie in passende Verkettung, so kann die Bewegung beginnen. Beide sind ziemlich zusammengesetzte Verbindungen, so z. B. ist das Werkstück K nicht zwangsläufig; denn ich kann es nach der einen Seite bewegen, ohne dass der ganze Mechanismus bewegt würde. Erst wenn wir Muskel I als nur einseitig wirksam annehmen, ist das Ganze in der Vereinigung zwangsläufig.

Nehmen wir als zweites Beispiel eine sogenannte transportirende Maschine, den einfachen Krahn. Die Einleitung der Kraft lässt sich abgesehen von den Todpunkten durch einen einfachen Muskelstrang, oder besser durch ein Muskeldreieck darstellen. Zur Ueberwindung der Todpunkte brauchen wir einen

zweiten Muskelstrang. Wir sehen also Fig. 33 den Arbeiter ABC als einen Motor an, der wenigstens zwei Muskelstränge willkürlich in Thätigkeit setzen kann. Die Kurbel bei C ist Receptor. Die Transmission geht über den Trilling T und Zapfen D nach dem Gewicht G. Wo liegt nun das Werkzeug, oder wenigstens die Werkzeugstelle? Wir könnten vermuthen: an der Aufwickelungsstelle bei E. Nach unseren Unterscheidungen müsste hier die eingeleitete Kraft entweder aufgespeichert, oder aus dem Bereich unserer Betrachtung in Gestalt von Wärme entfernt werden. Dies geschieht aber nicht, sondern wir haben an der Paarungsstelle bei E zwischen Trommel und Seil nur denselben Vorgang wie bei T zwischen Trilling und Rad. Sehen wir das Gewicht G an. Dasselbe schwebt noch kraftschlüssig, und unsere ganze Arbeit wird nur dadurch verursacht, dass wir dieses Gewicht von dem Erdboden entfernen müssen. Eliminiren wir den Kraftschluss durch eine Prismenführung bei G und bringen an Stelle von G einen Stichel an, der Fig. 34 an einer mit dem Erdboden fest verbundenen Schiene schneidet, so liegen die Vorgänge viel klarer da.

Wir haben jetzt den Mechanismus von dem Zwange befreit, dass er sich zu der Schwerkraft in einer bestimmten Lage befinden muss. Das Verhältniss zwischen Kraft und Widerstand ist dasselbe. Der Stichel ist Werkzeug und die Schiene ist Werkstück. Wenn wir nun auch nicht sagen können, das Gewicht ist Werkzeug und der leere Raum, durch den es geht ist Werkstück, so sehen wir doch, dass die Werkzeugstelle nicht bei E liegt, sondern dass ihre Functionen durch die eigenthümliche Relation ersetzt werden, welche vermöge der Schwerkraft zwischen Gewicht und Erdboden besteht. Wir können sagen, Werkzeug und Werkstück sind latent geworden. Die aufgewandte Arbeit wird bei diesem Verhältniss nicht in Wärme umgesetzt und unserer Willkür unzugänglich gemacht, sondern sie wird, wie bekannt, aufgespeichert, so dass ich sie jeden Augenblick wieder verwenden kann. (Accumulatoren.)

Dieser Fall, dass wir nicht geradezu angeben können, welcher Körper Werkzeug und welcher Werkstück ist, wohl aber die Stelle vorfinden, an der ihre Functionen vollzogen werden, führt uns zur Betrachtung derjenigen Maschinen, an welchen die ganze eingeleitete Arbeit an den Reibungsstellen gleichmässig angeleitet wird. Wollen wir hier besondere Stellen unterscheiden, so können es nur die sein, an denen die Vermehrung oder Verminderung des Widerstandes in unserer Willkär liegt. In der Regel werden dies die Stellen sein an denen der letzte Rest der Kraft herausgenommen wird, der bald grösser, bald kleiner als die zur Ueberwindung von Reibung verbrauchte Kraft sein kann. Prüfen wir nach dieser Richtung hin einen Eisenbahnzug. Die Maschine

Fig. 35 ruht kraftschlüssig auf den Schienen. Wir eliminiren den Kraftschluss, indem wir den Dampfeylinder durch eine Prismen- oder allgemeiner Arcusführung bei E mit der Schiene verbinden. Das Treibrad ist kraftschlüssig gegen die Schiene gepresst und wirkt nur durch die hiervon verursachte Reibung. Da wir Kraftschluss eliminirt haben, so fällt die Reibung fort, und wir haben die Schiene als Zahnstange zu denken. Hiernach haben wir die Schiene als Kettenglied mit zwei Paarungsstellen aufzufassen. Denken wir uns jetzt bei A in Fig. 35 Kraft eingeleitet, so liesse sich diese bei E sehr gut durch einen Stichel herausnehmen, der an der Schiene schneidet. In Wirklichkeit findet eine dieser Art entsprechende Herausnahme der Kraft aber nur bei gebremsten Rädern statt. Bei der gewöhnlichen Bewegung hat E nichts zu thun, als für eine paarschlüssige Führung zu sorgen. Zur eigentlichen Entnahme von Kraft ist noch das Rad GF angebracht. Wir müssen uns dies so lange es von der Schiene gedreht wird, als verzahnt denken. Denken wir uns bei G eine Bremse angebracht, die mit dem Hauptgliede CAEG verbunden ist, so werden wir uns G als Werkzeug vorstellen können. Eine solche Bremsung können wir uns nun mit Recht vorstellen; denn für unsere Betrachtung ist es gleichgültig, wie viele Wagen angehängt werden. Zu einer etwaigen Berechnung werden wir doch immer die Widerstände aller Laufzapfen auf einen einzigen reduzieren. Das Anhängen und Loslösen sowie das Beladen der Wagen wirkt also genau wie ein stärkeres Bremsen. Es ist also G die Stelle, an welcher die Entnahme von Arbeit direct in unserer Willkür steht. Zu beachten ist, dass auch die rollende Reibung bei F mit der Mehrbelastung direct wächst. Wir hätten demnach auch diese Stelle als bevorzugte Werkzeugstelle anzusehen. Es hindert uns auch nichts dies zu thun. Sie erlangt aber nie die Wichtigkeit der bei G, zumal da G direct mit dem Gliede arbeitet, auf welches der Motor seine Reaction ausübt, nämlich dem Rahmen der Maschine. Sobald die Wagen gebremst werden, liegt die Werkzeugstelle bei F, wobei wir gezwungen sind, die Schiene wieder als glatt und mit einem Reibungscoefficienten behaftet anzusehen. Es wird hierbei das Rad GF mit in den festen Verband hineingezogen, den wir uns zwischen dem Rahmen CAGE der Locomotive und allen Obergestellen der Wagen zu denken haben. Diesen Verband der Wagen haben wir als einen einzigen festen Körper anzusehen, dessen Gewicht wir anstatt durch Anleimen oder Anlöthen von neuen Stücken, durch Anhängen neuer Wagen, oder Beladen der alten vergrößern. Die Wirkung des Motors findet zwischen zwei beweglichen Gliedern statt. Wir haben also eigentlich zwei Receptoren; indessen sondert sich der eine hier leicht ab, da das Glied, welches die Reaction auf-

nimmt, mehrere Paarungsstellen trägt, so dass es sehr gut als passiv angesehen werden kann.

In ganz ähnlicher Weise wie hier können wir die Hauptwerkzeugstelle beim Dampfschiff nachweisen. Das Wasser vertritt hier die Eisenbahnschiene ganz und gar; es führt 1) das Schiff kraftschlüssig und 2) bietet es dem Schaufelrade die Möglichkeit wie an einer Zahnstange zu wirken. Es kommt hier nur die leichte Verschiebarkeit der Wassertheilchen hinzu. Von dieser brauchen wir indess nichts weiter zu constatiren, als dass trotz ihrer die beiden obigen Bedingungen erfüllt werden. Wir können uns ganz wie oben das Wasser als Glied mit den beiden Paarungsstellen, Prisma und Zahnstange vorstellen, und sehen nun in unserer Figur 36, dass wir genau den Mechanismus der Lokomotive haben, nur dass hier das Laufrad fortfällt. Das Hauptglied ACE liegt hier vertikal, während wir es bei der Lokomotive horizontal fanden. Die Ausleitung der Arbeit müssen wir uns an E etwa durch einen Stichel bewirkt denken. Es vertritt E, wie hier recht deutlich zu sehen ist, den Schiffskörper. Dieser findet seinen Widerstand am Buge. Wir haben also hier die Werkzeugstelle zu suchen. Es war dies vorauszusehen, da ja der Widerstand des Wassers allein als Bewegungshinderniss auftritt. Es ist zu bemerken, dass die doppelte Functionen des Wassers hier durch die gegenseitige Lage der Schaufelräder und des Schiffskörpers recht anschaulich gemacht wird.

Bei dem Schraubendampfer haben wir (Fig. 37.) die Paarung von Zahnstange und Rad durch die von Schraube und Mutter ersetzt, sonst ist Alles dasselbe. Wir stellen hier nur an die leichte Verschiebarkeit der Wassertheilchen eine noch grössere Anforderung, da die Schraube gerade in dem Raum arbeitet, aus welchem der Schiffskörper soeben das Wasser verdrängt hatte.

Bei der Locomotive sowie bei dem Schiff haben wir es, so lange beide auf horizontaler Bahn fahren, ausschliesslich mit Ueberwindung von Reibungswiderständen zu thun. Zu diesen tritt eine Componente der Schwerkraft, so bald wir uns vorstellen, die Maschinen führen bergauf. In diesem Falle haben wir eine combinirte Arbeit. Die Componente der Schwerkraft ersetzen wir durch einen Stichel, der die Schiene bearbeitet und die Reibung betrachten wir für sich. Erst bei diesem Bergauffahren haben wir eine Analogie mit dem Krahn, da erst jetzt die Entfernung eines schweren Körpers von dem Niveau des Erdbodens, also eine Aufspeicherung von Kraft stattfindet.

Die betrachteten Maschinen hatten, abgesehen von den Combinationen des menschlichen Körpers, nur einen Motor. Prüfen wir als Beispiele einer Maschine mit mehreren Motoren die Pendeluhr Fig. 38 und den Centrifugalregulator. Bei der ersteren sorgt der zweite Motor, die Schwere, direct, bei letzterem indirect für

gehörige Ausleitung der Kraft. Wir können bei der Uhr nicht gut sagen, es seien die Reibungsstellen die eigentlichen Werkzeugstellen, denn wir können das treibende Gewicht nach Belieben gross nehmen, ohne den Gang wesentlich zu ändern, so dass die Reibung lange nicht gross genug ist zur Aufhebung der eingeleiteten Arbeit. Diese Arbeit wird vielmehr durch den Schlag der Steigradzähne bei A gegen die Ankerklinke in Vibration umgesetzt. Im Moment des Stosses können wir also die Werkzeugstelle hier suchen. Nach dem Stosse ist das Gewerk der Uhr, vom Steigrad bis zum Gewichte gerechnet, in das Stadium der festen Verbindung getreten, und der Hauptmotor ausser Thätigkeit gesetzt. In dem Moment wo die Abschrägung der Ankerklinke an der Zahnspitze vorbei zu gleiten beginnt, tritt wieder der erste Motor in Thätigkeit, und zwar jetzt um das Pendel zu treiben. Wir haben von diesem Moment an das Werkzeug im Pendel zu suchen, ganz wie bei dem Krahne. Wir nehmen hierbei von dem vorhandenen Arbeitsvorrath etwas heraus und stapeln es in dem Pendel auf, damit dieses von Neuem im Stande ist, der Reibung am Aufhängepunkt bei B und an den Paletten A zum Trotz die Bewegung bis zur entgegengesetzten Seite fortzusetzen. Für den vom Pendel bewegten Mechanismus ist kein anderes Werkzeug vorhanden, als die Reibung zwischen Zähnen und Palette und an der Aufhängestelle, denn die Klinken sind so angeordnet, dass der Stoss der Steigradzähne gänzlich durch den Aufhängepunkt des Pendels aufgefangen wird. Es sei hier erwähnt, dass für den genauen Gang einer Pendeluhr die Kleinheit des Ausschlagswinkels durchaus unwesentlich ist, während dieselbe für den richtigen Gang eines blossen Sekundenpendels eine Hauptbedingung bildet, denn bei der Uhr wird stets der Ausschlagswinkel künstlich erhalten, während dieser und somit auch die Schwingungsdauer beim Sekundenpendel wechselt. Wir haben hier die Schwerkraft als Mittel zur momentanen Ansammlung von Kraft. Ganz ähnlich dienen die Centrifugalregulatoren dazu einen Theil des Kraftüberschusses für den Augenblick zu sammeln, so dass nach erfolgter Drosselung die Centrifugalkraft durch die Schwerkraft, die sie eben erst gemeinsam mit dem Widerstand der Absperrvorrichtung überwunden hat, behufs Rückstellung abgelöst werden kann.

Die angeführten Beispiele zeigen uns, dass die Begriffe Motor, Receptor, Transmission und Werkzeug ohne grosse Mühe, wenn auch mit geringen Modificationen, sich selbst an solchen Maschinen nachweisen lassen, bei welchen man bisher diesen Nachweis für unmöglich hielt (z. B. beim Dampfschiff, Reuleaux, Kinetik S. 478). Es scheint mir hiernach kein Grund vorzuliegen, wesshalb wir von den durch die Begriffserklärung der Maschine an die Hand gegebenen Unterscheidungen abweichen sollen; nament-

lich da die Krafteinleitung und Kraftausleitung uns sehr nahe an die Begriffe des umkehrbaren und nicht umkehrbaren Kreisprozesses der Wärmetheorie führt, und bisher eingehende Betrachtungen hierüber nur wenig stattgefunden haben. Ebenso sollte uns die in der Behandlung des allgemeinen Maschinenproblems immer noch herrschende Unklarheit besonders behutsam machen, einzelne Begriffe zu verwerfen, bevor wir nicht genau festgestellt haben, wie weit dieselben gelten, und von wo an neue nothwendig eingeführt werden müssen. Selbst wenn diese neuen dann so umfassend werden, dass die alten mit einbegriffen sind, bleibt noch zu prüfen, ob die alten nicht als Unterabtheilungen beibehalten werden sollen. Bei der Menge von Bezeichnungen, die die Maschinen verlangen, wenn wir nicht Alles mit Ebene, Prisma, Cylinder u. dgl. bezeichnen wollen, ist sogar das Letztere immerhin wünschenswerth.



